

Técnicas Experimentais em Hidrodinâmica COV730

Relatório Técnico – Seminário.

Estabilidade de Submersíveis

Professor: Antonio Carlos Fernandes

Aluno: Bruno Assis de Lima

DRE: 112100142

Sumário:

1 - Introdução

Este relatório tem como objetivo explicitar as características e peculiaridades de uma embarcação submersível. Por se tratar de um desafio da humanidade em explorar as riquezas oriundas do fundo do mar, depositou-se a este tipo de embarcação a principal alternativa para alcançar níveis de profundidade jamais alcançados pelo homem até então.

As pesquisas sobre este tipo de embarcação são realizadas pelos principais países dos quatro continentes, na qual manobram uma corrida entre o desenvolvimento tecnológico nesta área.

2 - Breve Histórico do Submersível

O conceito do submersível se desenvolveu durante o período do Renascimento, Leonardo da Vinci desenhou vários modelos de submarinos que nunca foram construídos, como o modelo apresentado na figura-1. Logo vislumbrou-se a possibilidade de alcançar algo que até então o homem nunca havia alcançado.

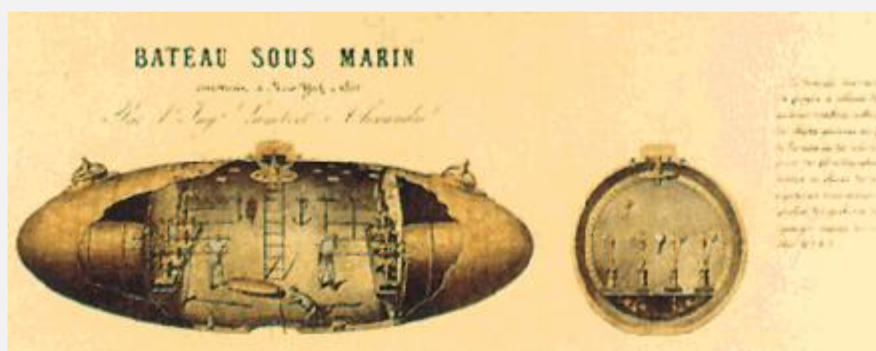


Figura-1:Desenho de um protótipo de submarino por Leonardo da Vinci.

Em 1610, o holandês Cornelis van Drebel lançou no rio Tâmisa, em Londres, o primeiro veículo capaz de operar sob a água. De propulsão manual, em geral com a utilização de remos, os submarinos se caracterizaram, até meados do século XIX, por seu tamanho reduzido, bem como pela limitada autonomia.

3 - Desenvolvimento do Submersível

O American Turtle, desenvolvido e construído por David Bushnell, entrou em ação em 1776, durante a guerra da independência dos Estados Unidos, e tornou-se, assim, o primeiro submarino a ser utilizado com objetivo militar. De pequenas dimensões e movido pela força braçal dos tripulantes, foi capaz de colocar um explosivo no barco britânico Eagle.

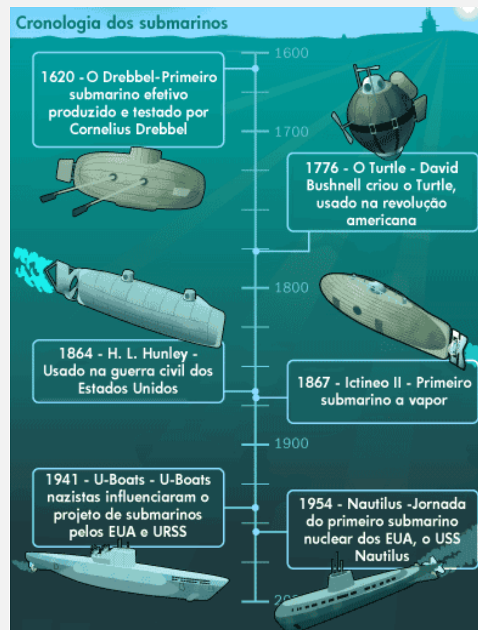


Figura-2: Desenvolvimento do submrsível.

4 - Comportamento ambiental

Fatores devido ao ambiente influenciam diretamente no projeto e em considerações de segurança. Alguns fatores atmosféricos como vento, nevoeiro, chuva ,gelo e efeitos relacionados a latitude e longitude tornam ainda mais crítico o projeto deste tipo de embarcação.

Vale salientar os efeitos de corrente e pressão conforme a profundidade na qual o mesmo pode operar,são parâmetros imprescindíveis para análise.

A seguir é possível observar os parâmetros a que estão sujeitos os submersíveis conforme apresentado na figura-3.

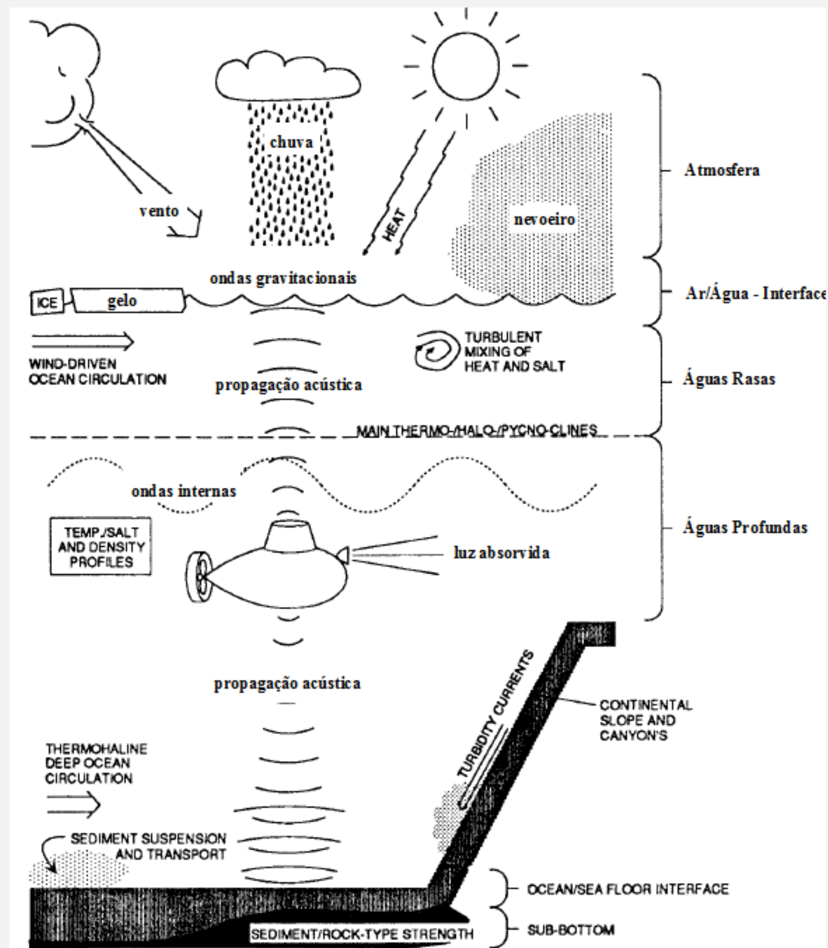


Figura-3: Parâmetros ambientais na qual estão sujeitos os submersíveis.

5 - Princípios Hidrodinâmicos

- Princípios hidrodinâmicos pertinentes para o projeto de submersíveis são os comportamentos destes veículos quando submetidos a forças e momentos devido a ações externas do ambiente:

Força da Gravidade

Resultantes da Pressão Hidrostática resultante do submersível (Deslocamento)

Movimento relativo entre um corpo submersível

Reações para a taxa de tempo de mudança para de momento linear e momento angular de partículas de água (Sustentação, arrasto ou resistência)

Forças atuantes de ondas e ventos.

Resistência a mudança nos movimentos, evidenciado pelas acelerações lineares e angulares.

6 - Classificação dos Submersíveis

Um submersível pode ser classificado a partir de três parâmetros básicos.

- Condição de Projeto
- Velocidade
- Manobrabilidade

6.1 - Condição de Projeto

São apresentados da seguinte categorização de submersíveis com base nas condições de projeto de flutuabilidade-neutra e não-neutra:

- Submersíveis de Flutuabilidade neutra

Deslocamento de reserva

Deslocamento de reserva zero

- Submersíveis de Flutuabilidade não-neutra

Estaticamente apoiado

Suportado Dinamicamente { sustentado pelo empuxo / mantido pela sustentação do corpo

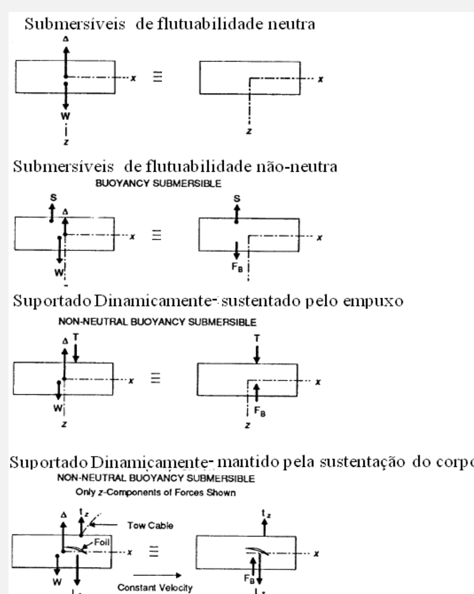


Figura-4: Arranjo esquemático da flutuabilidade dos submersíveis.

6.2 - Manobrabilidade

A manobra para o submersível pode ser atribuída como a mudança controlada ou de retenção da posição do corpo ou a direção de movimento e a velocidade tomada.

Assim, as categorias de manobras podem ser classificadas nos seguintes termos:

- Mudança de Posição
- Manutenção da Posição
- Mudança de Caminho
- Manutenção de Caminho
- Mudança da Velocidade
- Manutenção da Velocidade

Além dos seis graus de liberdade na qual toda embarcação está sujeita ao longo dos três eixos de coordenadas referente ao corpo conforme apresentado na figura-5.

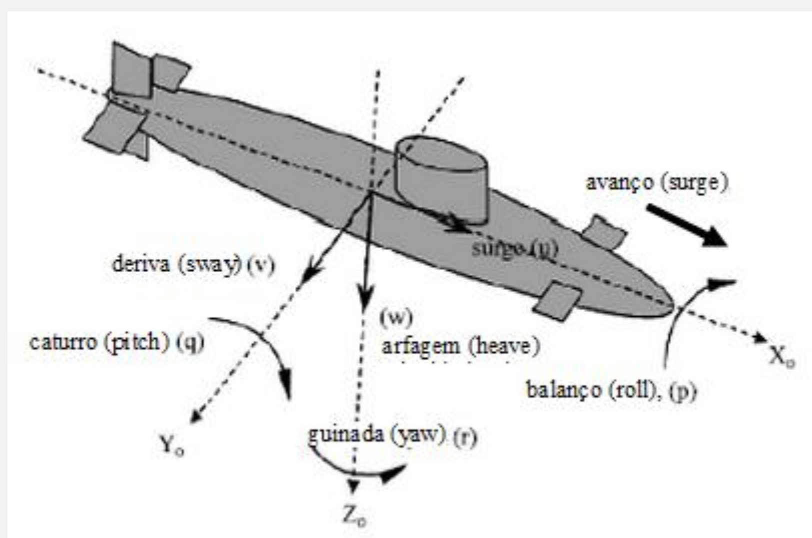


Figura-5: Graus de liberdade do submarino.

6.3 - Velocidade

A velocidade fornece uma outra maneira de classificar o submersíveis , uma vez que os requisitos de desempenho são definidos a partir dos eixo de coordenadas da embarcação.

Basicamente no eixo longitudinal (x) e eixo vertical (z).

- Alto

- Baixo

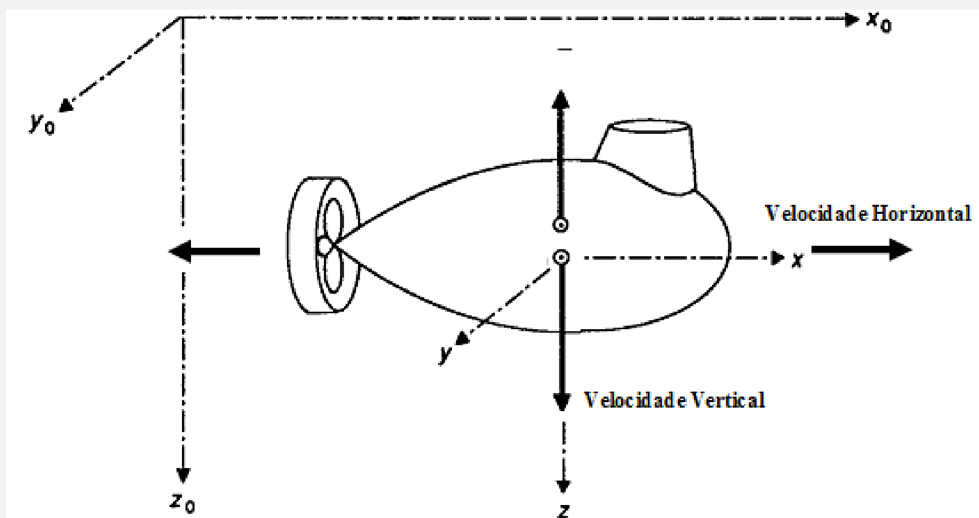


Figura-6: Representação esquemática das velocidades vertical e horizontal.

7 - Equilíbrio Estático e Fundamentos de Estabilidade

O submersível apresenta dois quadros de condição de estabilidade:

- Estabilidade Emerso
- Estabilidade Submerso

7.1 -Estabilidade Emerso

Esta condição o submersível apresenta as mesmas características de uma embarcação qualquer.

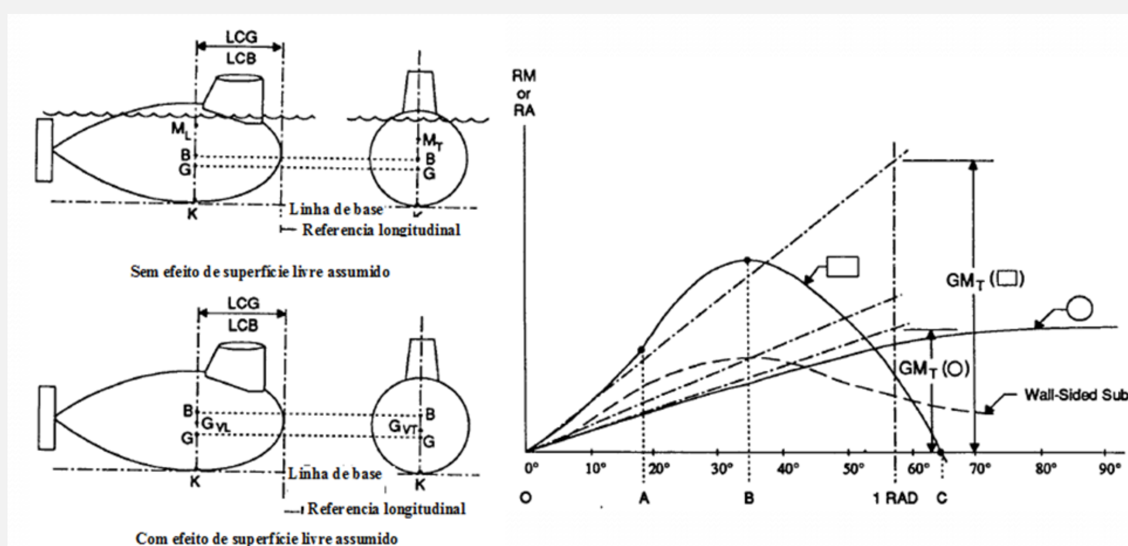


Figura-7:Representação esquemática de estabilidade submersível emerso.

7.2 - Estabilidade Submerso

Assim como uma embarcação na condição emersa o Submarino imerso apresenta três condições de equilíbrio conforme apresentado na figura-8.

- Estável
- Instável
- Neutro

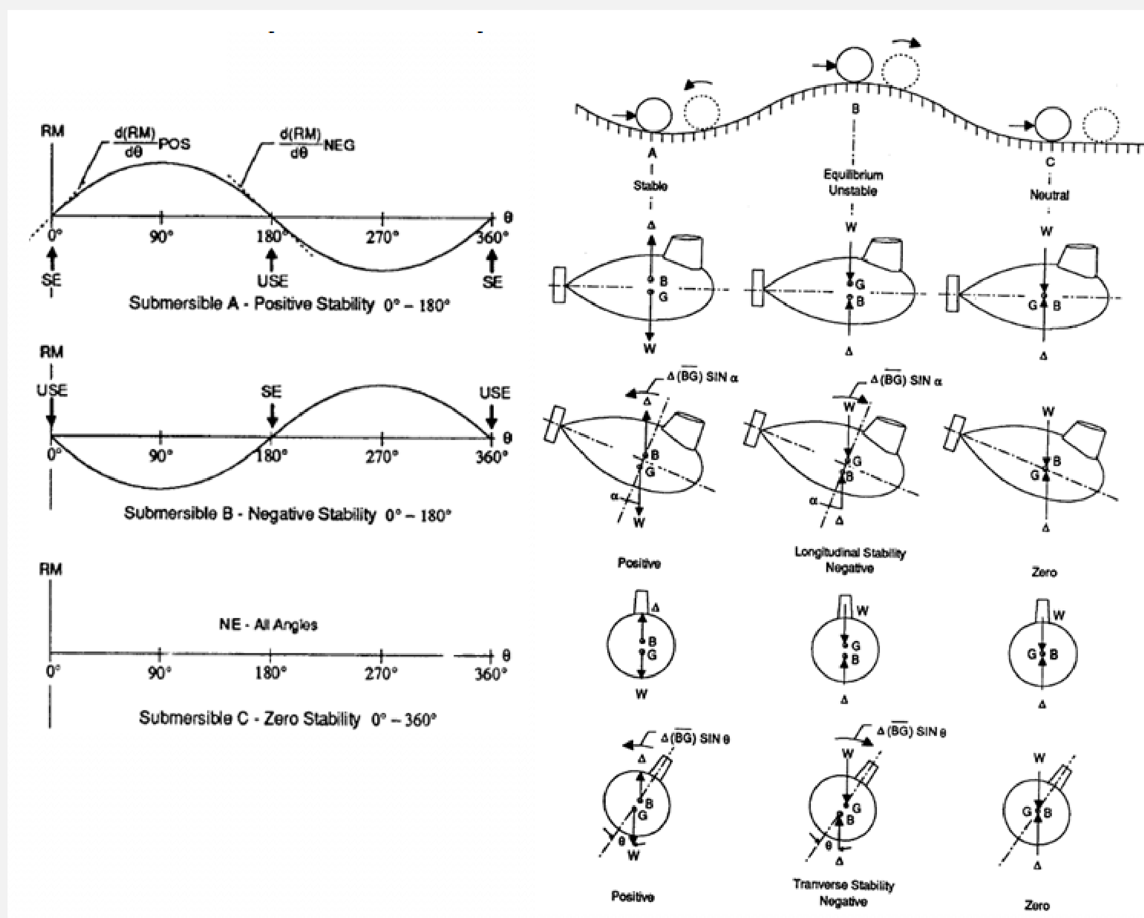


Figura-8: Representação esquemática de estabilidade submersível imerso.

8 - Sistema de compensação Dinâmico

Este sistema é utilizado para manobra de emersão, submersão e também para o sistema de equilíbrio da embarcação análogo ao sistema utilizado em navios convencionais. Trata-se de uma operação de lastro e deslastro da embarcação. As figuras 9 e 10 representam de maneira simples e didática estes procedimentos.

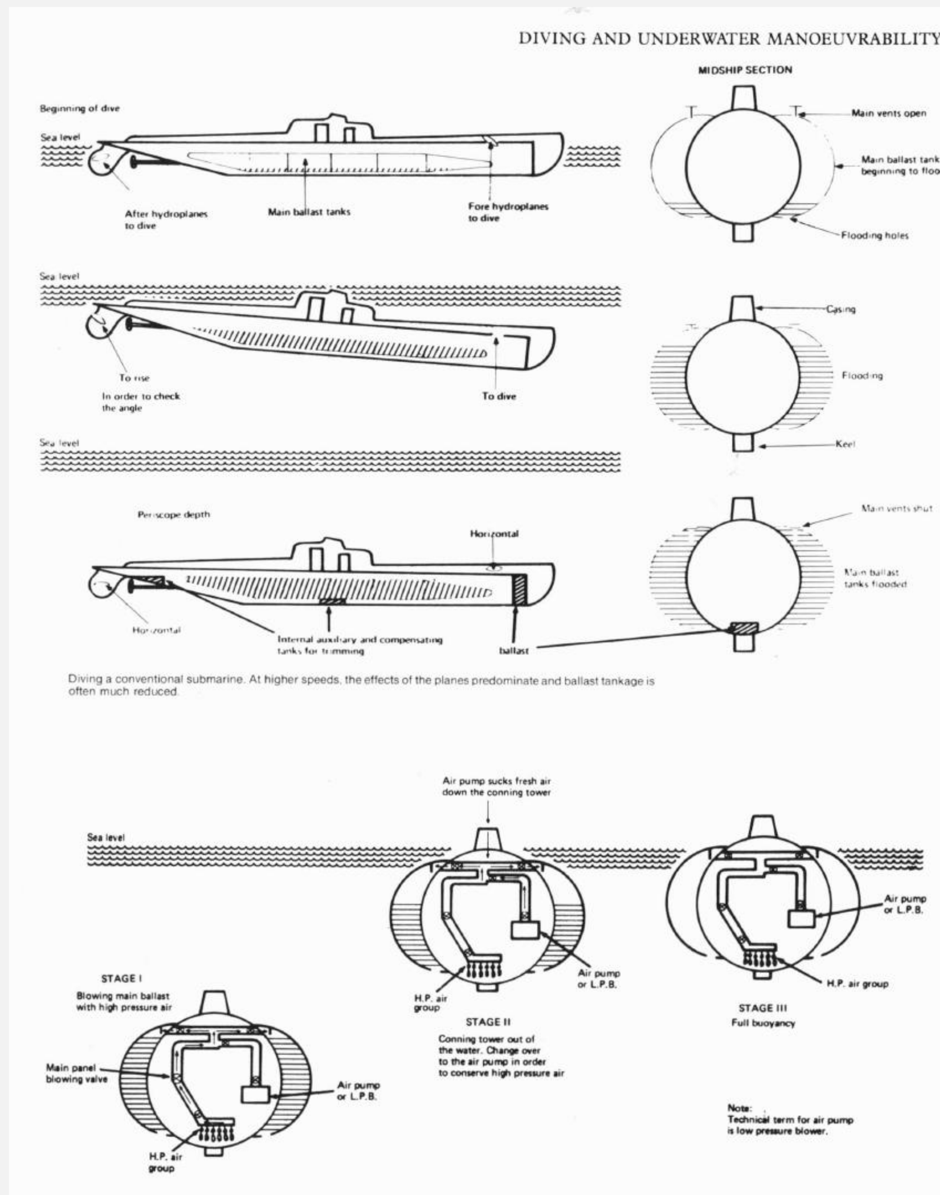


Figura-9: Sistema de lastro do submersível operando na imersão do meio.

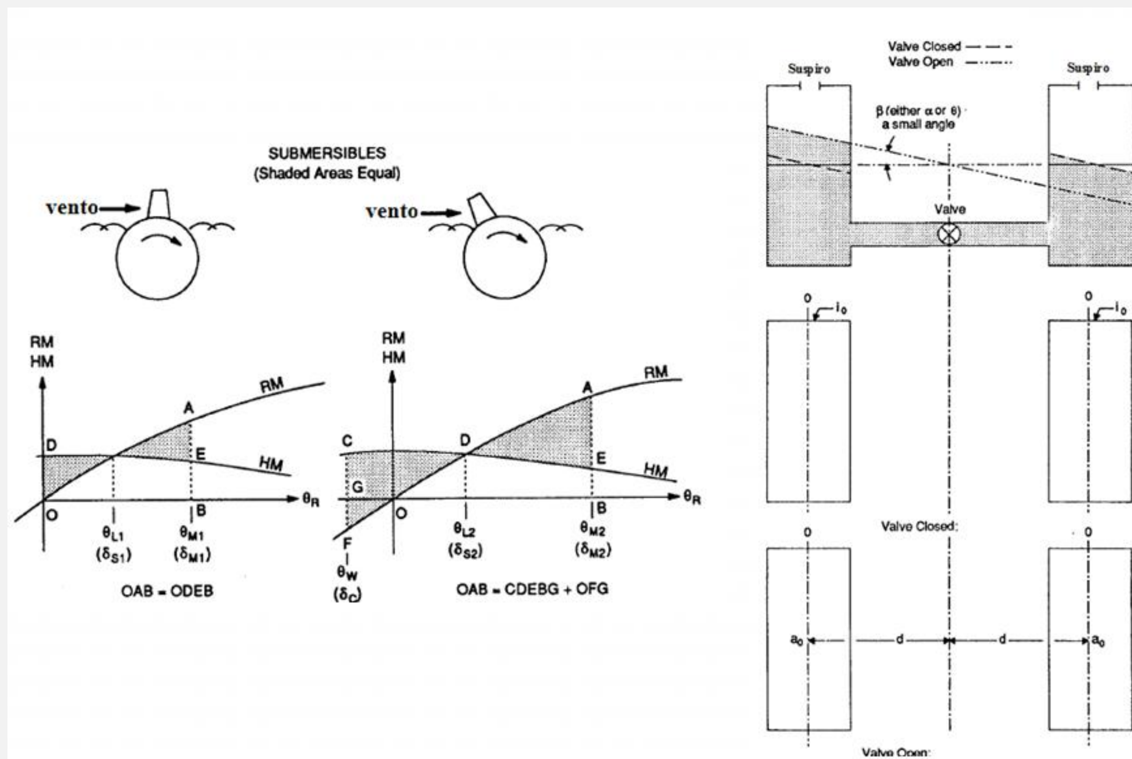


Figura-10: Operação de compensação dinâmica de equilíbrio a partir de tanques de compensação.

9 - Resistência e Propulsão

A resistência calculada para este tipo de embarcação apresentam comportamentos similares a de uma embarcação convencional. Entretanto algumas peculiaridades advém das características do submersível quando atuando submerso ou seja quando a mesma encontra-se submersa a variável C_w (Coeficiente de Onda) é eliminada.

Principais parâmetros:

C_f - Coeficiente friccional;

C_r - Coeficiente residual;

C_w - Coeficiente de onda;

Onde:

$$C_t = C_f + C_r + C_w$$

A partir do ITTC-75 :

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} \mathrm{Re} - 2)^2}$$

Resistência Total:

$$R_T = R_{BH} + R_{APP}$$

R_{APP} - Resistência dos apêndices.

R_{BH} -Resistência do casco nu.

$$R_{BH} = 1/2 \rho A V^2 C_t$$

A potência requerida para superar a resistência e dada por:

$$EHP = \frac{R_T \times V}{550}$$

A partir de aproximações é possível obter C_t com base nas relações a seguir:

- Baseado na área frontal

$$C_t = C_f \left[3\left(\frac{comprimento}{diametro} \right) + 4.5\left(\frac{diametro}{comprimento} \right) + 21\left(\frac{diametro}{comprimento} \right)^2 \right]$$

- Baseado superfície molhada

$$C_t = C_f \left[1 + 1.5\left(\frac{diametro}{comprimento} \right) + 7\left(\frac{diametro}{comprimento} \right)^3 \right]$$

O tipo de propulsor utilizado em submarinos militares advém de da potência requerida pelo mesmo, vale salientar um modelo de propulsor utilizado neste tipo de embarcação, na qual é constituído de sete pás prolongadas. Esta característica peculiar surgiu a partir de novos conceitos de ocultação na qual é o principal propósito. A partir daí analisou-se que este tipo de propulsor traria uma redução no nível de cavitação no dorso pá do hélice e consequentemente reduzindo o nível de ruído emitido pela embarcação.

São utilizados as curvas Bu-γ :

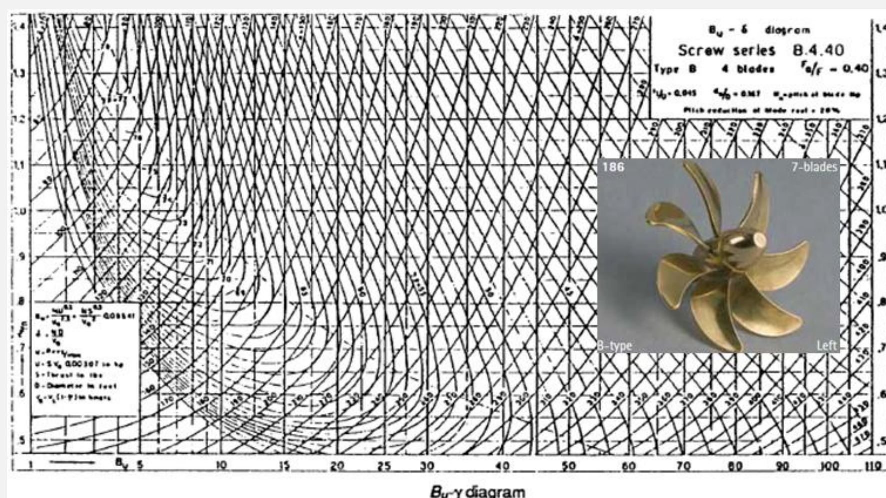


Figura-11: Diagrama Bu-g e propulsor de sete pás estendidas, utilizados em submarinos atualmente.

10 - Análise dimensional e semelhança

A maioria dos fenômenos em corpos submersíveis apresenta dependência complexa de parâmetros geométricos e do escoamento. Considerando a força de arrasto sobre o casco do submersível imerso em um tanque de provas, serão necessários utilizar parâmetros importantes para determinar a força de arrasto sobre o casco. Para este caso se propõe que a força de arrasto dependa das dimensões do submersível (caracterizado pelo diâmetro), velocidade , viscosidade e também da massa específica do fluido, a partir destes dados pode-se escrever a equação simbólica.

$$F = f(D, V, \rho, \mu)$$

A partir desta idéia introduziu-se o teorema Pi de Buckingham, ou seja um procedimento formalizado para deduzir grupos adimensionais apropriados para este problema.

O teorema de Buckingham é um enunciado da relação entre uma função expressa em termos de parâmetros dimensionais e uma função correlata expressa em termos de parâmetros adimensionais.

Conforme a análise proposta os parâmetros na qual serão utilizados são:

V - velocidade, g - gravidade, ρ- massa específica do fluido, μ- viscosidade, D- diâmetro, Rt - Resistência Total, P- Pressão e Ṽ- Volume. Portanto a matriz pode ser definida a seguir:

	g	**V**	**ρ**	**μ**	**Ṽ**	**D**	**R_t**	**P**
M	0	0	1	1	0	0	1	1
L	1	1	-3	-1	3	1	1	-1
T	-2	-1	0	-1	0	0	-2	-2

Onde os n parâmetros podem ser agrupados em n-k razões adimensionais independentes, ou parâmetros $\prod$.

K= 3 e n= 9,   logo n-k= 6

$\Pi_1 = V \cdot \rho^{a1} \cdot D^{b1} \cdot g^{c1}$ logo $\Pi_1 = V \cdot \cdot D^{-1/2} \cdot g^{-1/2}$ (Froud number)

$\Pi_2 = \mu \cdot \rho^{a2} \cdot D^{b2} \cdot g^{c2}$ logo $\Pi_2 = \mu \cdot \rho^{-1} \cdot D^{-3/2} \cdot g^{-1/2}$

$\Pi_3 = \nabla \cdot \rho^{a3} \cdot D^{b3} \cdot g^{c3}$ logo $\Pi_3 = \nabla \cdot D^{-3}$

$\Pi_4 = A \cdot \rho^{a4} \cdot D^{b4} \cdot g^{c4}$ logo $\Pi_4 = A \cdot D^{-2}$

$\Pi_5 = R_t \cdot \rho^{a5} \cdot D^{b5} \cdot g^{c5}$ logo $\Pi_5 = R_t \cdot \rho^{-1} \cdot D^{-3} \cdot g^{-1}$

$\Pi_6 = P \cdot \rho^{a6} \cdot D^{b6} \cdot g^{c6}$ logo $\Pi_5 = P \cdot \rho^{-1} \cdot D^{-1} \cdot g^{-1}$

Assim obtem-se em função de $\prod_{1.}$

$\Pi_1 = f(\Pi_{2,} \Pi_{3,} \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6)$ ou

$$F_r = f\left(\frac{V}{D^{1/2} \cdot g^{1/2}}, \frac{\mu}{\rho \cdot D^{3/2} \cdot g^{1/2}}, \frac{\nabla}{D^3}, \frac{A}{D^2}, \frac{R_t}{\rho \cdot D^3 \cdot g}, \frac{P}{\rho \cdot D \cdot g}\right)$$

Esta relação obtida a partir do teorema de Buckingham, utilizada em função do número de Froud deve-se ao fato da escolha dos parâmetros utilizados.

11 - Conclusão

O presente estudo tem como meta desenvolver o tema de dissertação para o mestrado do autor que aqui vos fala. Por se tratar de um tema bastante abrangente e complexo pode-se elaborar ensaios de modo a testar e estudar parâmetros como forma, resistência, dentre outros que estão inseridos dentro deste contexto.

Bibliografia

FRIEDMAN., *Submarine Design and Development ,Naval Institute Press, 1984.*

BURCHER, R. & RYDILL, L., *Concepts on Submarine Design, Cambridge*

University, 1995.

EUGENE ALLMENDGNER ,*Submersible Vehicle Systems Design,*SNAME,1980.

ARENTZEN, *Naval Architectural Aspects of Submarines, SNAME, 1969*